

HORVÁTH PÉTER JÁNOS–SOMOSSY ÉVA SZABINA–
TÓTH TAMÁS

A decentralizált villamosenergia- rendszerek fejlődésének nemzetközi és hazai szempontjai

A környezetvédelmi törekvések, illetve a villamosenergia-piacokon lezajlott deregulációs, liberalizációs folyamat révén megindult a villamosenergia-rendszerek decentralizációja. Tanulmányunk az elosztott/decentralizált termelés aktualitásait kívánja körbejárni alapvetően angol, illetve német szakirodalom felhasználásával. Az elosztott/decentralizált termelés fogalmi megközelítésén túl annak főbb jellemzőit, dimenzióit, előnyeit és kihívásait is bemutatjuk, majd erre alapozva felvázoljuk az energiaátmenet lehetséges forgatókönyveit is. Végezetül a hazai villamosenergia-rendszer decentralizációjának fejlődését ismertetjük kiválasztott szempontok alapján, és egy lehetséges jövőbeli forgatókönyvét is bemutatjuk. A tanulmány hiánypótló abból a szempontból, hogy a decentralizáció témakörében az utóbbi években ilyen jellegű elemzés Magyarországon nem született. A téma iránti egyre nagyobb érdeklődésre tekintettel bízunk benne, hogy további inspirációt nyújthatunk a hazai kutatások számára is.

Journal of Economic Literature (JEL) kód: Q20, Q28, Q29, Q42.

1882-ben Thomas Edison megalapította a világ első villamosenergia-termelő és -elosztó vállalatát, amely háztartásokat látott el villamos energiával. Az évek során aztán egyre több ilyen vállalat jött létre, de a villamosenergia-termelés helyi jellegű volt, azaz a villamos energiát szinte egyazon helyen termelték és fogyasztották el. Ennélfogva tehát nem volt szükség átviteli hálózatok kiépítésére, amelyek az erőműtől a fogyasztóig szállították volna a megtermelt villamos energiát. A villamosenergia-fogyasztás elterjedésével, illetve a megbízható villamosenergia-ellátás iránti igény megjelenésével azonban szükség volt arra, hogy a termelést centralizálják: egyfelől úgy, hogy nagyobb erőművekben, a fogyasztóktól távolabb történt a villamosenergia-termelés, ami természetesen az átviteli hálózatok kiépítésével és fejlesztésével

Horváth Péter János elnök, Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (e-mail: titkarsag@mekh.hu).

Somossy Éva Szabina zöldgazdasági szakértő, Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (e-mail: somossye@mekh.hu).

Tóth Tamás közgazdász (e-mail: tamas.toth79@gmail.com).

A kézirat első változata 2021. június 17-én érkezett szerkesztőségünkbe.

DOI: <https://doi.org/10.18414/KSZ.2022.6.697>

járt együtt, másfelől pedig a társaságok tulajdonosi centralizációja is végbement (*Mokhtari és szerzőtársai* [2017]).

A 20. században lezajlott centralizációs folyamatot egyfelől az 1970-es évek olajválsága szakította meg, amikor is újból megjelent az igény a helyi, részben megújuló erőforrások kiaknázására és az olaj- és földgázimporttól való függőség csökkentésére. Másfelől a klímatudatosság felerősödése, valamint az 1990-es években elinduló energiapiaci liberalizációs és deregulációs folyamat, amelyek eredményeképpen az energiaipari társaságok tevékenységének szétválasztása, illetve új energiapiaci szereplők megjelenése [például termelő fogyasztók (*prosumerek – produces and consumes*), aktív fogyasztók, aggregátorok, energiaközösségek] is serkentette és máig befolyásolja az energiaszektor, valamint azon belül különösen a villamosenergia-szektor decentralizációjának folyamatát.

A szakirodalomban számos publikáció lelhető fel a decentralizáció témakörében. A ScienceDirect online szakfolyóirat-adatbázisban végzett kulcsszavas keresés eredményét az 1. táblázat foglalja össze. Az adatok 2012–2021 között a tudományos érdeklődés növekedését mutatják a villamosenergia-rendszerek decentralizációjának fejlődése témájában.

1. táblázat

A decentralizáció, villamosenergia-rendszer, fejlődés (történet) kulcsszavak összekapcsolódásainak száma a tudományos publikációkban

Megnevezés	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Decentralizáció (<i>decentralization</i>)	4069	4467	5130	5681	5799	6498	7100	7469	9233	10 985
Decentralizált villamosenergia-rendszer (<i>decentralized electricity system</i>)	834	954	1199	1255	1505	1831	2029	2106	2630	3 324
Fejlődés (<i>development</i>)	729	847	1015	1071	1272	1545	1734	1798	2223	2 863

Forrás: saját szerkesztés a ScienceDirect adatbázisa alapján (keresés időpontja: 2022. május 5.).

Tanulmányunkban szakirodalmi forrásokon és nyilvánosan elérhető adatbázisok elemzésén keresztül kíséreljük meg bemutatni és értelmezni a villamosenergia-rendszerek decentralizációjának fejlődését és jövőjét, kitérve a fogalmi háttér problematikájára, a decentralizáció dimenzióira, előnyeire és hátrányaira, amelyek segítségével lehetséges energiautak vázolhatók fel, majd egy lehetséges hazai fejlődési pályát is ismertetünk.

Az elosztott/decentralizált termelés fogalma, főbb jellemzői és megközelítései

Az energiarendszerek kutatásának egyik fontos fogalmi eleme a decentralizáció. Ezen érthetjük az úgynevezett elosztott termelést, azaz a döntően elosztóhálózatra csatlakozó és részben megújuló alapon termelő erőművek térnyerését, de ezenkívül

decentralizált lehet az erőművek földrajzi elhelyezkedése, az általuk termelt villamos energia kiegyenlítése, részben a villamosenergia-rendszer szabályozása, de a villamos energiát termelő erőművek tulajdonosi struktúrája, a fogyasztás, a villamosenergia-piacok, sőt a jövő energiarendszereinek tervezése, az energiastratégia megalkotása is.

A decentralizáció témakörét leggyakrabban műszaki, társadalmi-politikai szempontból tárgyalják. Bármelyik megközelítést is nézzük, általában egységes definíciót nehéz találnunk, ezért a szakirodalmak többsége különböző választott szempontrendszer mentén próbálja értelmezni a fogalmat.

A decentralizált villamosenergia-termelésre az angol nyelvű szakirodalom alapvetően kétféle kifejezést is alkalmaz: *distributed generation* (elosztott termelés, DG), illetve *decentralized production* (decentralizált termelés). Alkalmanként megjelenik azonban az *embedded generation* (beágyazott termelés), illetve a *distributed resource* (elosztott erőforrás) fogalma is.

A német nyelvű szakirodalomban ezzel szemben inkább a *dezentrale Energieversorgung* (decentralizált energiaellátás) vagy a *Dezentralität* (decentralitás) kifejezés használatos, az elosztott termelés (*verteilte Energieerzeugung*) fogalmát kevésbé alkalmazzák a gyakorlatban.

Az elosztott termelés az angol nyelvű szakirodalom szerint lényegében azt jelenti, hogy nem az átviteli, hanem közvetlenül az elosztóhálózatra, illetve az ellátandó fogyasztóhoz kapcsolódnak az elosztott termelést megvalósító erőművek (lásd például *Ackermann és szerzőtársai* [2001] vagy *Mokhtari és szerzőtársai* [2017]). Ezzel kapcsolatban azonban már most érdemes eloszlatni egy félreértést: annak ellenére, hogy a megújuló alapon termelő erőművek rendszerint az elosztóhálózatra kapcsolódnak, ez nem feltétlenül jelenti azt, hogy egyenlőségjelet kellene tennünk az elosztott és a megújuló alapú villamosenergia-termelés között. Emellett az is elmondható, hogy az elosztott termelést megvalósító technológiák nem mindig a csúcstechnológiai (*high-tech*) szektorból kerülnek ki, hiszen a fejlett üzemanyagcellás és áramátalakító technológiák mellett hagyományos belső égésű motorok vagy dízel-, illetve földgáz-alapon működő turbinák is kapcsolódhatnak az elosztóhálózatra (lásd például *Martin* [2009] vagy *Mokhtari és szerzőtársai* [2017]).

Az uniós terminológia egyébként hasonló megfogalmazást alkalmaz: az elosztott termelés az elosztórendszerhez kapcsolt termelőlétesítményeket jelenti (*EU* [2019] 2. cikk, 32. pont).

Martin [2009] úgy gondolja, hogy a kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés is elosztott termelésnek tekinthető, hiszen mivel a hő kevésbé szállítható, ezen erőműveknek közel kell települniük a hőpiacokhoz.

Ackermann és szerzőtársai [2001] az elosztott termelést megvalósító egység beépített villamosenergia-termelési kapacitása alapján négy kategóriát azonosított: mikro (1–5 kilowatt), kisméretű (5 kilowatt–5 megawatt), közepes (5–50 megawatt) és nagyméretű (50–300 megawatt). Természetesen a nagyméretű elosztott termelői létesítmények esetén már vizsgálni szükséges, hogy azok betáplálási kapacitása nem haladja-e meg az adott elosztóhálózat kapacitását.

Több más jellemző alapján is meg lehet különböztetni az elosztottan termelő létesítményeket: egyes erőművek távolról vezérelhetők, illetve termelésük

szabályozható, mások képesek a hálózattól független, szigetüzemű működésre. Emellett léteznek olyan elosztott termelési egységek, amelyek tartalékkapacitásként is felhasználhatók arra az esetre, ha más termelési egységek kiesnének a hálózathoz (Mokhtari és szerzőtársai [2017]).

A 2. táblázat Ackermann és szerzőtársai [2001] alapján összefoglalja a főbb elosztott termelési technológiákat, valamint a termelési egységek tipikus kapacitáshatárait:

2. táblázat

Az egyes elosztott termelési technológiák tipikus modulméretei (watt, kilowatt, megawatt)

Technológia	Tipikus modulméret
Kombinált ciklusú gázturbina	35–400 megawatt
Belső égésű motorok	5 kilowatt–10 megawatt
Belső égésű turbina	1–250 megawatt
Mikroturbina	35 kilowatt–1 megawatt
<i>Megújuló technológiák</i>	
Kis vízerőművek	1–100 megawatt
Mikroméretű vízerőművek	25 kilowatt–1 megawatt
Szélerőművek	200 watt–5 megawatt
Fotovoltaikus technológiák	20 watt–
Biomassza-elgázosító technológiák	100 kilowatt–20 megawatt
Üzemanyagcellák	1 kilowatt–5 megawatt
Geotermikus technológiák	5–100 megawatt
Óceán energiáját hasznosító technológiák	100 kilowatt–1 megawatt
Stirling-motor	2–10 kilowatt

Forrás: Ackermann és szerzőtársai [2001] alapján saját szerkesztés.

Az IRENA [2019] szerint azonban nemcsak az elosztott termelést megvalósító egységek tartoznak az úgynevezett elosztott energiaforrások (*Distributed Energy Resources, DERs*) kategóriájába. A saját villamosenergia-termelés tárolására szolgáló akkumulátorok, az elosztóhálózat igényeinek megfelelő elektromosautó-töltés, az úgynevezett *power-to-heat* technológiák (például hőszivattyúk, villanybojlerek, hőtárolási technológiák), illetve az egyéni fogyasztói, valamint aggregátorok útján megvalósuló keresletoldali válasz-kapacitások,¹ ugyanis ezek a tanulmány szerint szintén az elosztott/decentralizált energiarendszer részei.

Az elosztott termelés részben decentralizálja az energiarendszert, azaz az energiatermelő egységek egyes esetekben lokálisan is elosztottan, illetve ténylegesen a fogyasztókhöz közel települnek (lásd például Ackermann és szerzőtársai [2001])

¹ A keresletoldali válasz (*Demand Response, DR*) azt jelenti, hogy a fogyasztó ellenszolgáltatásért cserébe felajánlja fogyasztásának időszakos korlátozását, illetve bizonyos időszakokra történő átcsoportosítását. Ily módon a csúcsidőszakban elkerülhető a hálózat túlterhelése, valamint a fogyasztás időben optimalizálható.

egyik definícióját az elosztott termelésre). Megjegyzendő azonban, hogy Németországban például a szélerőművi villamosenergia-termelés inkább az ország északi felére összpontosul, míg a nagyobb fogyasztói központok többnyire az ország déli felében találhatók. Ez a termelés tehát hiába kapcsolódik az elosztóhálózatra, nem nevezhető a szó szoros értelmében vett decentralizált villamosenergia-termelésnek (főként nem akkor, ha a méreténél fogva már az átviteli hálózatra kapcsolódik).

A német energiatörvény (*Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung, Energiewirtschaftsgesetz, EnWG*) 3. paragrafusának 11. pontja definiálja az úgynevezett decentralizált erőmű (*dezentrale Erzeugungsanlage*) fogalmát.² Ennek alapján egy erőmű akkor tekinthető decentralizáltnak, ha a fogyasztási központhoz közel telepítik, és az erőmű az elosztóhálózatra csatlakozik (lásd még *Witte [2020]*).

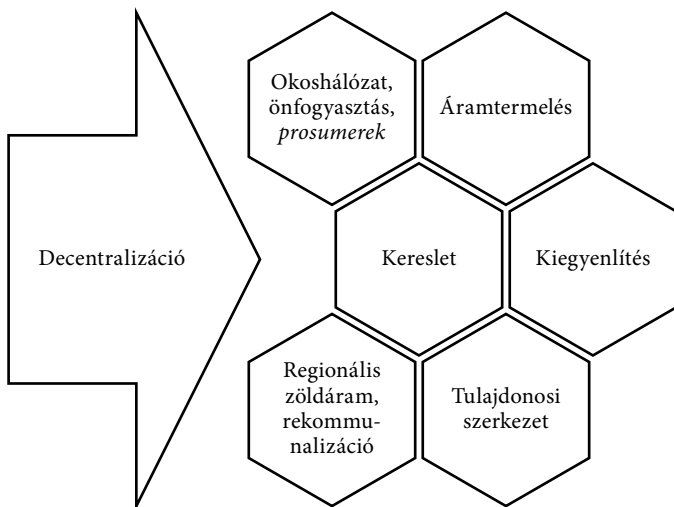
Az Agora Energiewende tanulmánya (*Agora [2017]*) szerint ezzel szemben a decentralizáció (*Dezentralisät*) annyira komplex és nem egyértelműen körülhatárolható fogalom, hogy konkrét definíciót nem lehet és nem is tanácsos rá alkotni. A decentralizációt inkább gyűjtőfogalomnak tekinti, amelynek több oldalára is rávilágít (*1. ábra*).

– *Decentralizált villamosenergia-termelés*: ez lényegében a német energiatörvényben definiált decentralizált erőmű fogalmát jelenti, azaz a fogyasztási központokhoz közeli telepítést, illetve az elosztóhálózatra való csatlakozást.

– *Decentralizált kiegyenlítés*: a német energiaátmenet (*Energiewende*) következtében a villamosenergia-termelést, illetve -fogyasztást egyre inkább decentralizáltan, azaz az elosztóhálózatok szintjén szükséges kiegyenlíteni.

1. ábra

A decentralizáció tényezői



Forrás: Agora [2017] alapján saját szerkesztés.

² „Dezentrale Erzeugungsanlage: eine an das Verteilernetz angeschlossene verbrauchs- und lastnahe Erzeugungsanlage.” (EnWG 3. § 11.)

– *Decentralizált kereslet*: nemcsak a kínálati, hanem a keresleti oldalon is végbement egyfajta decentralizáció. Lehetőség van például arra, hogy a fogyasztó a saját régiójában megtermelt zöldáramot vásárolja meg.

– *Tulajdonosi decentralizáció*: a decentralizáció fogalma interpretálható úgy is, hogy például a megújuló erőműveket egyre inkább a fogyasztók vagy azok egy szervezete birtokolja (lásd a *Bürgerenergie* fogalmát a németeknél).

Az előbbi szakirodalmi felsorolást értékelve elfogadjuk az Agora Energiewende (Agora [2017]), valamint a Német Műszaki Tudományos Akadémia (Witte [2020]) azon javaslatát, hogy a decentralizációt nem szükséges szigorúan definiálni, ehelyett inkább gyűjtőfogalomként használjuk a különféle hálózattopológiákra, gazdasági, társadalmi és politikai szempontokra figyelemmel. E publikációnkban a továbbiakban ezen megközelítéssel élve vizsgáljuk a decentralizált villamosenergia-rendszerek fejlődését és a lehetséges jövőbeli energiautakat.

A decentralizáció dimenziói

Bauknecht–Funcke [2013] szerint mind a centralizált, mind a decentralizált villamosenergia-rendszert különböző dimenziók mentén érdemes vizsgálni. Ezek a dimenziók lényegében meghatározzák, hogy a villamosenergia-rendszer mely szintjén történhet meg a decentralizáció. A szerzőpáros az alábbi dimenziókat vizsgálta:

- az erőművek földrajzi elhelyezkedése,
- az erőművek villamosenergia-termelése hova kerül betáplálásra (elosztó-, illetve átviteli hálózat),
- rugalmasság,
- rendszerszabályozás,
- tulajdonosi struktúra.

Az Agora Energiewende tanulmánya a decentralizáció alábbi dimenzióit különíti el, melyeket érdemes röviden bemutatni (Agora [2017]).

HÁLÓZATTOPOLÓGIAI DIMENZIÓ • A decentralizációs folyamatok miatt fellépő hálózati szűk keresztmetszetek miatt már nem mindegy, hogy hol helyezkedik el az adott erőmű, illetve hol történik a fogyasztás, felértékelődik tehát a *lokáció* szerepe. Fontos decentralizációhoz kapcsolódó fogalom továbbá az *önfogyasztás*, amelynek egyes pénzügyi terhek alól történő mentesítéséhez értelmezni kell, hogy hol a határ a magán- és a közcélú hálózat között (az a villamos energia ugyanis, amelyet már betápláltak a közcélú hálózatba, nem minősül önfogyasztásnak).

GAZDASÁGI DIMENZIÓ • A decentralizáció a piaci szereplők szintjén is végbement: a nagy energetikai cégek mellett a liberalizációs folyamatok eredményeképpen kisebb cégek is megjelentek, emellett a megújuló energiák elterjedésével az önkormányzatok, önkormányzati tulajdonban lévő közműcégek (*Stadtwerke*), szövetkezetek,

valamint maguk az energiafogyasztók is nagyobb szerepet kaptak az energiapiacon (*Bürgerenergie*).

A jövőben csak azok a piaci szereplők tudnak részt venni a villamos energia decentralizált, azaz az elosztóhálózatok szintjén történő kiegyenlítésében, amelyek helyi termelőkapacitásokhoz is hozzáférnek.

A villamos energia fizikai szempontból ugyan továbbra is homogén árunak tekinthető, azonban származása alapján egyre inkább differenciált termékről van szó, megjelent ugyanis a *zöldáram* (megújuló energiaforrásokból előállított villamos energia), illetve az úgynevezett *regionális áram* (helyi villamosenergia-termelő egységekből származó áram) fogalma.

A decentralizációhoz kapcsolódóan fogalommal vált az úgynevezett *prosumer* (termelő fogyasztó) is mint új energiapiaci szereplő, amely egyfelől termelő, hiszen a saját (főleg megújuló forrást használó) berendezésével állít elő villamos energiát, másfelől pedig a saját maga által termelt, illetve a közcélú hálózatról vételezett villamos energia fogyasztója is.

TÁRSADALMI DIMENZIÓ • A decentralizáció e dimenzióban lényegében azt jelenti, hogy az energiarendszer egyes elemei (például a megújuló alapon termelő erőművek, hálózatok, rugalmassági megoldások) egyre inkább közelednek a fogyasztókhoz/polgárokhoz. Ahogy a gazdasági dimenzióban is említettük, ez növeli az energiapiaci folyamatokban részt vevők számát, és decentralizálja a döntési folyamatokat. Továbbá elmondható, hogy a központi beruházások politikai legitimitációja csökken, a fogyasztók inkább a polgári kezdeményezésekben (*Bürgerinitiative*) bíznak.

Németországban a polgárok egyre inkább részeseivé kívánnak válni az energiaátmenetnek például oly módon, hogy részesedést szereznek megújuló alapon termelő erőművekben (*Bürgerenergie*). Ez végső soron visszavezet a már korábban említett tulajdonosi decentralizáció fogalmához, valamint hangsúlyosan megjelenik az autarkia, önellátásra való törekvés mint motiváció is. Utóbbi tehát nemcsak a *prosumerek*, az „önfogyasztók” sajátja, hanem jellemezheti egy lakóépület, közösség, városrész, település, de akár egy régió decentralizációs törekvéseit is.

Ezek a törekvések azonban problémásak lehetnek abból a szempontból, hogy amint nő az autarkia törekvő közösségek (energiaközösségek) száma, úgy csökken az energiarendszer költségeit finanszírozó fogyasztóké, ami viszont elvezet ahhoz a felismeréshez, hogy az önmagukat teljes mértékben ellátni képes *prosumereknek* is hozzá kell járulniuk valamilyen szinten a hálózati költségek fedezéséhez (hiszen a rendszer hasznaiból ők is részesülnek).

POLITIKAI DIMENZIÓ • A megújuló energiák kiépülésével, amely a decentralizáció egyik vetülete, megerősödött a helyi önkormányzatok (Németországban emellett az egyes szövetségi államok) szerepe az energiapolitikában. Sok régió, megye vagy város önálló fenntarthatósági, illetve megújuló energiára vonatkozó koncepcióval, stratégiával is rendelkezik,³ amely tehát az energiapolitikai tervezést és stratégiaalkotást

³ Lásd például Budapest klímastratégiáját (*Budapest Főváros Önkormányzata [2021]*).

is részben decentralizálja. A főbb energiapolitikai irányvonalakat, valamint a hálózattervezést és -fejlesztést azonban továbbra is centralizáltan határozzák meg, illetve valósítják meg. Érvényesülnie kell tehát a *szubszidiaritás elvének*, azaz felsőbb szinteken csak akkor érdemes meghozni a döntést, ha az alsóbb szinteken szuboptimális eredményre vezetne.

A decentralizált villamosenergia-termelés és az elosztott/decentralizált erőforrások előnyei és kihívásai a szakirodalom alapján

A következőkben az elosztott/decentralizált erőforrások, az elosztott/decentralizált energiatermelés és ezen belül az elosztott/decentralizált villamosenergia-termelés előnyeit, illetve az abból fakadó kihívásokat, esetleges hátrányos tényezőket kívánjuk bemutatni.

A nemzetközi szakirodalom az elosztott vagy decentralizált (villamos)energia-termelésnek számos előnyét sorolja fel (például *Pepermans és szerzőtársai* [2005], *IRENA* [2019]), amelyekhez azonban általában kihívások, illetve egyes tényezők fennállása esetén hátrányok is kapcsolódnak.

Az elosztott termelés első fontos hozadéka az, hogy amennyiben lokálisan, a fogyasztókhoz közel történik, úgy a költséges átviteli hálózat-fejlesztések megtakaríthatók, illetve későbbi időpontra halaszthatók. Emellett nem elhanyagolható az a tény, hogy a lokális energiatermelés egyben csökkenti a hálózati veszteségeket is. Természetesen a fogyasztói központoktól távol történő telepítés (lásd a megnövekedett északnémet szélérőművi villamosenergia-termelést vagy a későbbiekben tárgyalt Desertec-projekt terveit) már az átviteli hálózat fejlesztését kívánja meg, amely jelentős beruházási költségekkel jár, továbbá növeli a hálózati veszteségeket is. Sőt egy bizonyos mérethár felett a termelés már nem nevezhető elosztottnak, hiszen az elosztóhálózat kapacitása már nem elegendő a megtermelt villamosenergia-mennyiség felvételére, ily módon a közvetlen elosztóhálózatra történő kapcsolódás vagy nem lehetséges, vagy aránytalanul magas elosztóhálózati fejlesztési költségekkel járna (*Ackermann és szerzőtársai* [2001], *Pepermans és szerzőtársai* [2005]).

A decentralitás emellett abban is megnyilvánulhat, hogy a lokális hőpiacokra épít, ily módon a kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés primerenergia-forrás megtakarításához és ez által alacsonyabb szén-dioxid-kibocsátáshoz vezethet a külön hő-, illetve villamosenergia-termeléshez képest (*Pepermans és szerzőtársai* [2005], *Martin* [2009]).

A megújuló energiaforrások használata is a lokalitási törekvéseket erősíti, hiszen helyi vagy helyben keletkező energiaforrásokról van szó, ami csökkenti az energiaimporttól való függőséget. Emellett ezek alapvetően „tisztá” energiaforrások (szemben a környezetszennyező fosszilis, azaz szén- vagy földgázalapon termelő erőművekkel), tehát a szén-dioxid-kibocsátás csökkentésével hozzájárulnak a klímaváltozás hatásainak mérsékléséhez is. A decentralizált megújuló alapú energiatermelés természetesen nemcsak öszzgazdasági, hanem lakossági szinten is közvetlen pozitív hozadékokkal

jár. A fogyasztók megtermelhetik saját villamosenergia-szükségletüket (például tetőre szerelt napelemek révén), és az el nem fogyasztott villamos energiát későbbi fogyasztásra tárolhatják, vagy a közcélú hálózatba betáplálhatják a piaci árhoz közeli értéken (úgynevezett *prosumerek*). Ez egyfajta autarkiát is jelent a fogyasztó számára, másfelől maga is villamosenergia-termelővé, esetleg aggregátorok révén piaci szereplővé válik (az úgynevezett rugalmassági szolgáltatások nyújtásával) (*Pepermans és szerzőtársai* [2005], *Agora* [2017]).

A lokális ellátásra is képes termelőegységek számának növekedésével természetesen megjelenik az a probléma, amelyet már korábban is említettünk: csökken a hálózatfejlesztéseket finanszírozó fogyasztás mennyisége, ami a nem önfogyasztók (nem *prosumerek*) számára aránytalanul növelheti a hálózati díjakat (lásd még *Agora* [2017]). Emiatt tehát megjelentek azok a törekvések is az EU-ban, hogy a saját felhasználásra termelőket is valamilyen módon be kellene vonni a hálózatfejlesztési költségek finanszírozásába, hiszen a közcélú hálózatot ők is használják, működésének hasznából ők is részesednek. Az EU 2019/944. irányelv 15. cikk 2. bekezdés e) pontja alapján például aktív felhasználók esetében a tagállamoknak biztosítani kell, hogy olyan költségtükröző, átlátható és megkülönböztetésmentes hálózati díjakat alkalmazzanak, amelyekben külön számolják el a hálózatba táplált villamos energiát és a hálózattól kivett villamos energiát, biztosítva azt, hogy megfelelő és kiegyensúlyozott módon vegyék ki részüket a rendszer általános költségmegosztásából (*EU* [2019]). A fenti rendelkezések átültetésével gyakorlatilag megszűnik Magyarországon a háztartási méretű kiserőművek elterjedése mögött álló szaldóelszámolás lehetősége a 2023. december 31-e után telepített rendszerekre. A szaldóelszámolás ösztönző helyét az úgynevezett *energiaközösségek* vehetik majd át.

A társadalmi hasznok közé sorolható a korábban már szóba került tulajdonosi decentralizáció is, hiszen az elosztott termelési egységek (például megújuló alapon termelő erőművek) gyakran részben önkormányzati, szövetkezeti tulajdonban vannak, illetve polgári kezdeményezések is léteznek (lásd *Bürgerenergie* Németországban). Ez elősegíti az energiaszektor demokratizálódását, a nagyobb fogyasztói participáció pedig hozzájárul ezen erőművek jobb társadalmi elfogadottságához is. Természetesen ennek árnyoldala lehet az esetlegesen elaprózódó tulajdonosi szerkezet (*Agora* [2017]).

Az időjárásfüggő megújuló alapú villamosenergia-termelés, azaz a szél- és naperőművek elterjedése kihívásokat is rejt magában, hiszen e termelés villamosenergia-rendszerbe való integrálásához egyfelől növekszik a kiegyenlítő energia iránti igény (ami akár fosszilis alapon működő tartalékkapacitások kiépítését is igényelheti), illetve nő a kiegyenlítő energia költsége. Ezt természetesen részben ki lehet váltani a megfelelő tárolókapacitások kiépítésével, illetve olyan rugalmassági szolgáltatásokkal is, mint az úgynevezett *peak-shaving* (csúcsidőszaki termelés visszavágása), illetve a keresletoldali válaszingtézkedések (*Demand Response, DR*) (*Pepermans és szerzőtársai* [2005], *IRENA* [2019]).

A korábban már említett IRENA-tanulmány szerinti úgynevezett elosztott energiaforrások (*Distributed Energy Resources, DERs*) előnye, hogy hozzá tudnak járulni az időjárásfüggő megújuló alapú villamosenergia-termelés piaci alapú

rendszerintegrációjához. Ehhez azonban szükség van arra, hogy egyenlő hozzáférést biztosítsunk számukra a villamosenergia-nagykereskedelmi és rendszerszintű szolgáltatási piacokhoz annak érdekében, hogy rugalmassági szolgáltatásaikat fel tudják ajánlani, és azokkal kereskedni is tudjanak. Az elosztott energiaforrások piaci integrációja ily módon elősegíthetné a megújuló piaci alapú rendszerintegrációját (IRENA [2019] vagy *Lin és szerzőtársai* [2017]).

Az elosztott, tulajdonképpen „elaprózódott” energiatermelés azonban magasabb költségekkel is járhat abból a szempontból, hogy ebben az esetben nem érvényesül a méretgazdaságosság elve, másrészt pedig számos, az energiarendszer decentralizációjához köthető technológia tőkeköltsége még mindig magas, illetve jelentős átalakítási veszteséggel jár (például Power-to-X technológiák, hidrogén üzemanyagcella).

A 3. táblázat foglalja össze a decentralizált termeléshez, illetve erőforrásokhoz köthető, fent bemutatott előnyöket és a kapcsolódó kihívásokat, esetleges hátrányokat.

3. táblázat

A decentralizált villamosenergia-termelés, illetve az elosztott/decentralizált erőforrások előnyei és hátrányai/kihívásai

Előnyök	Hátrányok/kihívások
Fogyasztókhöz közeli telepítés esetén a költséges átviteli hálózat-fejlesztések rövid távú alternatívája lehet	Fogyasztói központoktól távoli telepítés esetén növekvő átviteli hálózat-fejlesztési költségek
Lokális termelés esetén csökkenő hálózati veszteségek	Fogyasztói központoktól távoli telepítés esetén hálózati veszteségek
Lokális hőpiac esetén kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés révén a primerenergia-felhasználás és a CO ₂ -kibocsátás megtakarítása	
A megújuló energiaforrások hasznosítása klímavédelmi szempontból is előnyös	Az időjárásfüggő villamosenergia-termelés (szél, nap) rendszerintegrációs nehézségei
Rugalmassági szolgáltatások: például csúcsgényycsökkentéssel (<i>peak-shaving</i>), keresletoldali válasz	Elosztott erőforrások hozzáféréseinek biztosítása a villamosenergia-nagykereskedelmi piacokhoz
Rendszerszintű szolgáltatások nyújtása, hálózati szűk keresztmetszetek kezelése	Elosztott erőforrások hozzáféréseinek biztosítása a rendszerszintű tartalékpiacon
Autarkia, megújuló esetén energiainporttól való függőség csökkentése	A termelő fogyasztók (<i>prosumerek</i>) bevonása a villamosenergia-rendszer költségeinek fedezésébe
Demokratikus (lásd például <i>Bürgerenergie</i>)	Elaprózódott tulajdonosi szerkezet Egyes technológiák (például Power-to-X, hidrogén üzemanyagcellák) esetén még magasabb tőkeköltségek, átalakítási veszteségek Méretgazdaságossági előnyök kiaknázatlansága

Forrás: saját szerkesztés *Pepermans és szerzőtársai* [2005], *Martin* [2009], *Agora* [2017], *IRENA* [2019], *Lin és szerzőtársai* [2017] alapján.

Energiaátmeneti utak – decentralizáció vagy centralizált decentralizáció?

Mint azt a bevezetőben is említettük, a villamosenergia-rendszerek térbeli változása napjainkban is megfigyelhető, és a nemzetközi tendenciák (IEA [2020]) arra engednek következtetni, hogy ezek a változások felgyorsult, robusztus folyamatok lesznek, amelyeknek az egyik mozgatórugója az új üzleti, befektetési lehetőségek mielőbbi kihasználása, a másik – kétségtelenül alapvetőbb, de az előbbivel összefüggő – ok az éghajlatváltozás elleni közös nemzetközi erőfeszítések által generált fejlesztések.

A megújuló alapon termelő erőművek, valamint a megújuló erőforrásokat hasznosító berendezések (például tetőre szerelt napelemek) terjedése az előzőekben leírtak szerint új kihívásokat jelent a villamosenergia-rendszerek számára. Fontos szempont a villamosenergia-rendszerek stabilitásának fenntartása, ezért a hálózatfejlesztés, kiegyenlítés és a keresletoldali válaszingtezkedések szerepe felértékelődik. Megoldandó probléma az időjárásfüggő technológiák által nem előre kalkulált módon termelt, az adott időpontban „felesleges” villamos energia tárolása. Ahogy Tóth [2020] rámutat, a felesleges áram esetleges hasznosítása más ágazatokban (például fűtés-hűtés, közlekedés céljára) újabb technológiai kutatásokat hozott (lásd az úgynevezett *Sektorkopplung* fogalmát⁴ és a Power-to-X technológiákat). A szektorok összekapcsolása révén olyan telephelyek is felértékelődhetnek, amelyek ugyan a villamosenergia-termelés szempontjából kedvezőtlenebb adottságokkal rendelkeznek, de a felesleges villamos árammal termelt hő, esetlegesen szintetikus gázok vagy üzemanyag eladásából addicionális bevételre lehet szert tenni. Emellett egyre jobban lehet számítani a digitalizáció megjelenésére az energetikában [okosmérők elterjedése, okoshálózat, blokklánc-technológia használata a hálózati végpontok közötti közvetlen kapcsolatot fenntartó (*peer-to-peer*) energiakereskedelemben stb.].

Mindez felveti azt a kérdést, hogy milyen irányban és módon várható az energiarendszerek decentralizációja. *Bauknecht–Funcke* [2013] szerint a centralizáció és decentralizáció előzőekben leírt dimenziói alapján érdemes gondolkodni, a rendszerek azonban nem feltétlenül lesznek mind decentralizáltak – egyfajta centralizációs-decentralizációs mixet érdemes elképzelni a jövő energiarendszereiben. Részben decentralizált lesz például a megújuló alapú villamosenergia-termelés földrajzi elhelyezkedése, de elképzelhető egyfajta centralizáció is (lásd az északnémet szélenergia-koncentráció, a Desertec-projekthez hasonló gigaprojektek, 2. ábra). A rugalmassági és rendszerszintű szolgáltatások terén is úgy gondolják, hogy részben megmarad a centrális kiegyenlítés, de elterjednek decentralis megoldások is (például okoshálózat, keresletoldali válasz, decentralis tárolók, virtuális erőművek). Hasonlóan az *Agora* [2017] által leírtakhoz, a jövőben is elképzelhető az energiarendszerek egyfajta rekommunalizációja, de a nagyobb megújulóenergia-projektek mindenképpen centralizáltabb tulajdonosi struktúrát igényelnek.

⁴ Bővebben lásd *Ausfelder és szerzőtársai* [2017].

2. ábra

A villamosenergia-ellátás lehetséges földrajzi elhelyezkedései



Forrás: *Bauknecht–Funcke* [2013] alapján saját szerkesztés.

Az alábbiakban részben *Bauknecht–Funcke* [2013] alapján három lehetséges energiaátmeneti forgatókönyvet kívánunk felvázolni.

KÖZPONTOSÍTOTT MEGÚJULÓENERGIA-ÁTMENET • Már több mint tíz éve elindult egy „erősen központosított” szemléletű óriásfejlesztés megtervezése, amikor is a megújuló energiára alapuló villamosenergia-termelés koncentráltan ott valósulna meg, ahol arra a legnagyobb a potenciál (lásd még *Funcke–Bauknecht* [2016], *Lilliestam–Hanger* [2016]). A 2009-ben megalakult Desertec alapítvány projektje⁵ egy egész Európát, illetve közel-keleti és észak-afrikai országokat összekötő, nagyfeszültségű villamosenergia-hálózat megépítését vizionálta (transznacionális szuperhálózat). A közel-keleti és észak-afrikai országokba, valamint a Szaharába telepítendő nagyméretű termikus naperőművek (*Concentrated Solar Power, CSP*) jelentős hőtároló kapacitással rendelkeznek, így részben ki tudnák egyenlíteni a volatilis fotovoltaikus, illetve szélenergiás villamosenergia-termelést. Minden megújuló technológia ott hasznosulna a rendszerben, ahol a legjobbak a földrajzi adottságok: a nagy szélenergiaparkok a tengerpartokra, a naperőművek az intenzív besugárzású területekre, a vízenergiák a hegyvidéki övezetekbe stb. települnének. Az átviteli veszteség 1000 kilométerenként körülbelül 2-3 százalékot tenne ki, ami nem számít jelentősnek. A tenger alatti kábelek, illetve az országokon átívelő nagyfeszültségű vezetékek lefektetése viszont hatalmas beruházást igényel, illetve további problémát jelent a térség magas politikai kockázata is (*Tóth* [2020]). 2014 végén ugyan a Desertec-projekt eredeti formájában megszűnt, de a Desertec-vízió még nem teljesen lefutott, mivel a sivatagi naperőművek 1,5 cent költséggel képesek egy kilowattóra villamos energiát előállítani. Ez olcsóbb, mint az európai atomerőművi termelési költség (*Petz* [2018]).

DECENTRALIZÁLT ÁTMENET • Ez egy szelídebb energiaátmenet, erős közösségi részvétellel. A középpontban az aktív felhasználók (fogyasztók) állnának. Saját berendezésekkel

⁵ Bővebben lásd <http://www.desertec.org/>.

(például háztartási méretű napelemek, hőszivattyúk, biomasszaalapon működő kis, kapcsolt berendezések stb.) termelnek maguknak áramot és hőt, a felesleget pedig tárolják (például kisméretű akkumulátorok, elektromos autók feltöltése révén), vagy betáplálják a hálózatba, és ezáltal többletbevételre tesznek szert.

A villamosenergia-ellátás újra lokális lenne, valamint az energiaszolgáltatók szerepe átértékelődne: teljes körű energiaszolgáltatásra törekednének a jelenlegi hagyományos pozíciót felváltva (úgynevezett *energy contracting* keretében). Tóth [2020] szerint ez a megújuló forrást használó berendezések telepítésén kívül magában foglalja a telepítési tanácsadást, tervezést, finanszírozást, támogatási tanácsadást, karbantartást, sőt a mérést és elszámolást is. Itt jelenhetnek meg az aggregátorok, amelyek a szolgáltatókat összeköthetik egymással, valamint az egyes elosztott termelőegységek, tárolók, illetve a fogyasztók rugalmassági kapacitásaikat felajánlhatják a kiegyenlítőenergia-piacon.

KIEGYENSÚLYOZOTT ENERGIAÁTMENET • A villamosenergia-rendszer jövőbeli szerkezeti változásainak harmadik lehetséges – és tanulmányunk szerint a legvalószínűbb – útja egy „kiegyensúlyozott”, versenyzői, de egymást egyben kiegészítő fejlődési irány, amely inkább decentralizált, mint centralizált. Ebben a forgatókönyvben ugyan tovább növekedne az aktív felhasználók, valamint a háztartási méretű, megújuló energiát nyújtó berendezések száma, ugyanakkor a megújuló alapon termelt villamos energia kiegyenlítése központosítottan történne: hálózatba betáplált zöldenergia leszállítása (úgynevezett betáplálásmenedzsment) nagyobb tárolókapacitások kiépítése révén, az egyes szektorok összekapcsolásával (*Sektorkopplung*), illetve keresletoldali szabályozási mechanizmusok segítségével (*Demand Side Management, DSM* vagy *Demand Response, DR*).

A villamosenergia-rendszer decentralizációjának hazai fejlődése⁶

A villamosenergia-rendszer decentralizációja Árva és szerzőtársai [2016] értelmezésében azt jelenti, hogy az áramtermelés a fogyasztási helyhez közel történik. Ennek két fajtáját különböztetik meg:

1. kapcsolt energiatermelés: hőt és villamos energiát egy folyamatban állítanak elő, a közeli hőpiac veszi fel a megtermelt hőt;
2. megújuló forrásokra épülő villamosenergia-termelés.

Árva és szerzőtársai [2016] úgy értelmezi az elosztott termelés fogalmát, hogy a termelés az adott rendszer méreteihez képest kisebb termelési egységekből áll. Érdekes módon nem említi a nemzetközi szakirodalomban kritériumként megjelenő elosztóhálózati csatlakozást. Ennek ellenére Ackermann és szerzőtársai [2001]-hez hasonlóan leszögezi, hogy a decentralizált termelés nem jelent egyet a megújuló energiahordozók hasznosításával, hiszen gázmotorok is lehetnek decentralizált termelési egységek, valamint fordított értelemben: amennyiben egy erőmű megújuló energiát hasznosít, nem biztos, hogy decentralizált a termelése (azaz értelmezésük szerint nem kis termelési egységről van szó).

⁶ A következőkben a 2021. június 17-ig publikusan elérhető adatok szerepelnek.

A vizsgált angol és német nyelvű szakirodalom alapján a 4. táblázatbeli szempontok, dimenziók mentén képzeljük el a hazai elosztott/decentralizált villamosenergia-termelés vizsgálatát.

4. táblázat

Az elosztott/decentralizált villamosenergia-termelés hazai vizsgálatának szempontrendszere

Szempont	Szerzői vélemény
Hova csatlakozik az erőmű	elosztóhálózatra
Fogyasztóhoz közeli telepítés	nem feltétlenül szükséges, de célszerű lehet
Kapacitáshatár	50 megawatt beépített kapacitás felett már nem tekintjük elosztott termelésnek
Megújuló bázis	nem feltétlenül, de a decentralizáció fogalma általában megújuló erőművekhez köthető
Mi tartozik a decentralizáció fogalomkörébe	decentralizált villamosenergia-termelés és -fogyasztás [például termelő fogyasztók (<i>prosumerek</i>), aktív felhasználók]; decentralizált rugalmassági kapacitások, amelyek aggregátorok révén kapcsolhatók be a piacra (a kapcsolt energiatermelést mint elosztott/decentralizált termelést nem vizsgálja a tanulmány)
Kiegyenlítés	nem feltétlenül decentralizált
Tulajdonosi struktúra	nem feltétlenül decentralizált

Forrás: saját szerkesztés.

Magyarország villamosenergia-termelő rendszere, azaz a hazai erőműpark alapvetően centralizált, hiszen 2019-ben az 50 megawatt feletti nagyerőművek beépített kapacitásának aránya meghaladta a 73 százalékot (*MEKH–Mavir [2020]*). Emellett kijelenthető, hogy a hazai villamosenergia-termelés döntő hányada (46 százalék) nukleáris energiából történik (3. ábra), s ez az arány a Paksi Atomerőmű bővítésével még a régi blokkok működésének idejéig átmenetileg nőni is fog.

A decentralizációs törekvések azonban már évtizedek óta jelen vannak Magyarországon, amit egyfelől a környezetvédelmi szempontok előretörése, másfelől a villamosenergia-szektor liberalizációs és deregulációs folyamatai is elindítottak.

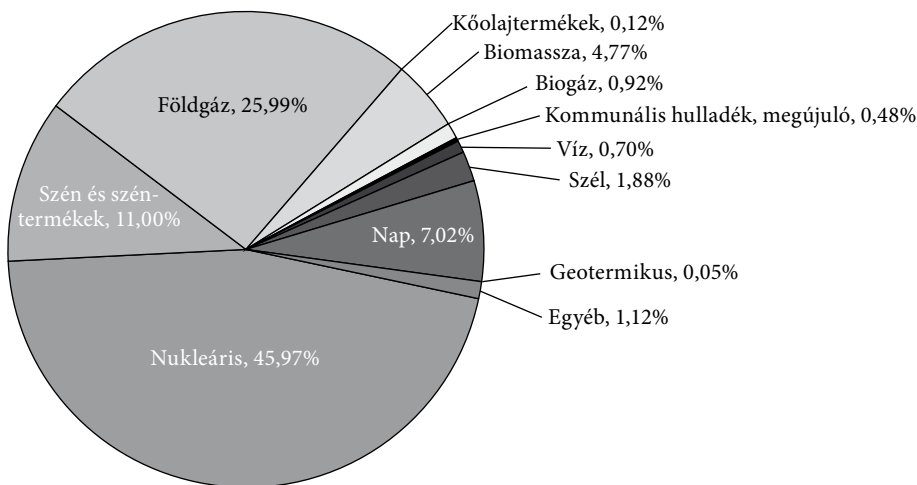
Az elosztott/decentralizált villamosenergia-termelés Magyarországon főként a megújuló alapú villamosenergia-termelés terjedésével azonosítható, amely termelési egységek elsősorban az elosztóhálózatra kapcsolódnak, illetve jellemzően 50 megawattnál kisebb összesített beépített kapacitással rendelkeznek. A fogyasztói központokhoz való közelség jellemzően nem kritériuma a decentralizált villamosenergia-termelésnek, inkább az elosztóhálózatra való kapcsolódás.

Meg kell jegyeznünk, hogy a villamos energiáról szóló törvénybe (Vet)⁷ nem került bele magának az elosztott vagy decentralizált villamosenergia-termelésnek a fogalma

⁷ 2007. évi LXXXVI. törvény a villamos energiáról (<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0700086.tv>).

3. ábra

A hazai bruttó villamosenergia-termelés megoszlása energiahordozók szerint, 2020*
(előzetes adatok, százalék)



* A vizsgálat lezárásakor (2021. június) elérhető utolsó teljes éves adat.
Forrás: MEKH [2021c].

(ahogy például a németeknél történt), csupán egy jogi passzus hivatkozik az elosztott termelésre, hogy az annak révén elért költségmegtakarítást (például hálózati beruházások megtakarítása) figyelembe kell venni a rendszerhasználati díjak megállapítása során (lásd Vet 142. § 7. pontja). Emellett a villamosenergia-törvény végrehajtási rendelete (Vet vhr.)⁸ nevesíti, hogy az erőművekkel kapcsolatos engedélyezés során a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatalnak (a továbbiakban: MEKH) elő kell segítenie a decentralizált villamosenergia-termelést (Vet vhr. 59. § 1b. pont), azonban ennek konkrét definícióját nem adja meg.

A decentralizáció fogalmkörébe Magyarországon az elosztott/decentralizált villamosenergia-termelés mellett beleértjük a decentralizált fogyasztást [lásd termelő fogyasztók (*prosumerek*), aktív felhasználók fogalma], valamint az úgynevezett decentralizált rugalmassági kapacitásokat is (például keresletoldali válasz), amelyek aggregátorok révén vonhatók be a villamosenergia-piacra.

A villamosenergia-termelés kiegyenlítése Magyarországon még nem decentralizált, hiszen a jelenlegi technológiai adottságok mellett még csak centralizáltan, alapvetően fosszilis erőművek tartalékkapacitásainak bevonásával tudja a rendszerirányító (Mavir) az áramtermelést és fogyasztást egyensúlyba hozni.

Ami a hazai megújuló alapú energia-, illetve villamosenergia-termelést illeti, Magyarország Nemzeti energia- és klímaterve (*NEKT* [2020]), illetve új nemzeti energiastratégiája (*Nemzeti energiastratégia* [2020]) alapján Magyarország a bruttó végső

⁸ 273/2007. (X. 19.) kormányrendelet a villamos energiáról szóló 2007. évi LXXXVI. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról (<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0700273.kor>).

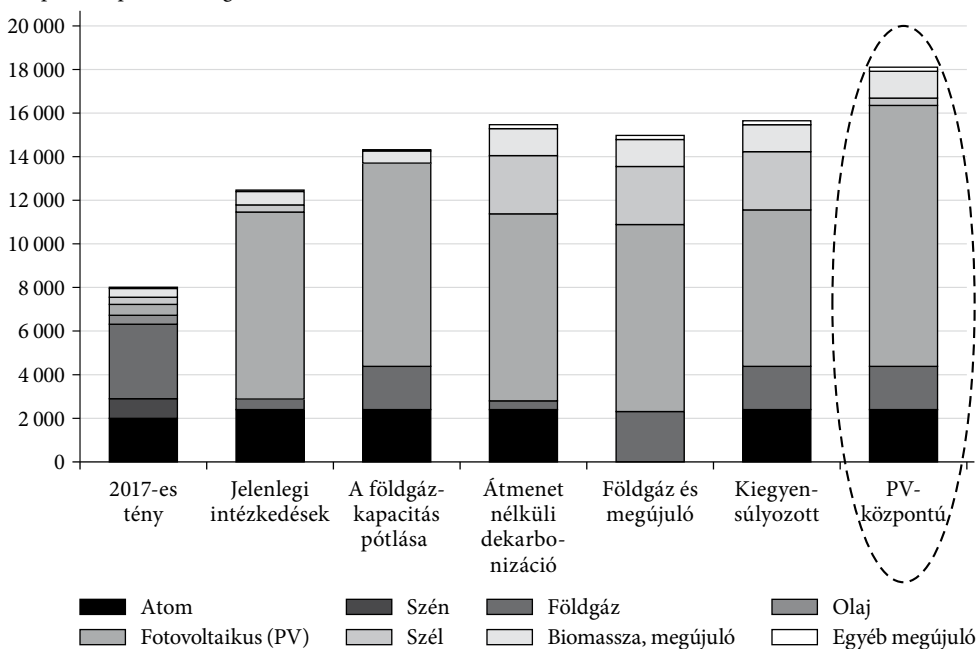
energiafogyasztásban a megújuló energiaforrások legalább 21 százalékos részarányát kívánja elérni 2030-ig, illetve a villamosenergia-fogyasztásban a megújuló alapú energiatermelés arányát 2030-ra legalább 20 százalékra kívánja növelni (a 2019. évi 9,99 százalékról). 2020-ra egyébként 13 százalékos megújulóenergia-részarányt szükséges elérnünk a bruttó végső energiafogyasztásban (kötelező uniós nemzeti cél), amelyet 2019-ben már megközelítettünk 12,61 százalékos részaránnyal (SHARES [2020]).

A „zöldítés” központi elemét a napelemes kapacitások bővítése jelenti, amelyek nagysága a tervek szerint – az előzetes MEKH-adat szerint – a 2020. év végi több mint 2000 megawatttól 2030-ra közel 6500 megawatt-ra nő, 2040-re pedig jelentősen meghaladhatja a 10 ezer megawattot (4. ábra). A háztartási méretű kiserőművek tekintetében cél, hogy 2030-ra legalább 200 ezer háztartás rendelkezzen átlagosan 4 kilowatt teljesítményű, tetőre szerelt napelemmel (NEKT [2020]). Ez azt jelenti, hogy a napelemes kapacitások 2040-ben már akár öt Paksi Atomerőmű beépített teljesítményét is kitehetik, Magyarország villamosenergia-termelése tehát nagymértékben decentralizálódna.

4. ábra

Villamosenergia-termelő kapacitások 2040-ben a Nemzeti energiastratégia egyes forgatókönyvei alapján

Beépített kapacitás (megawatt)



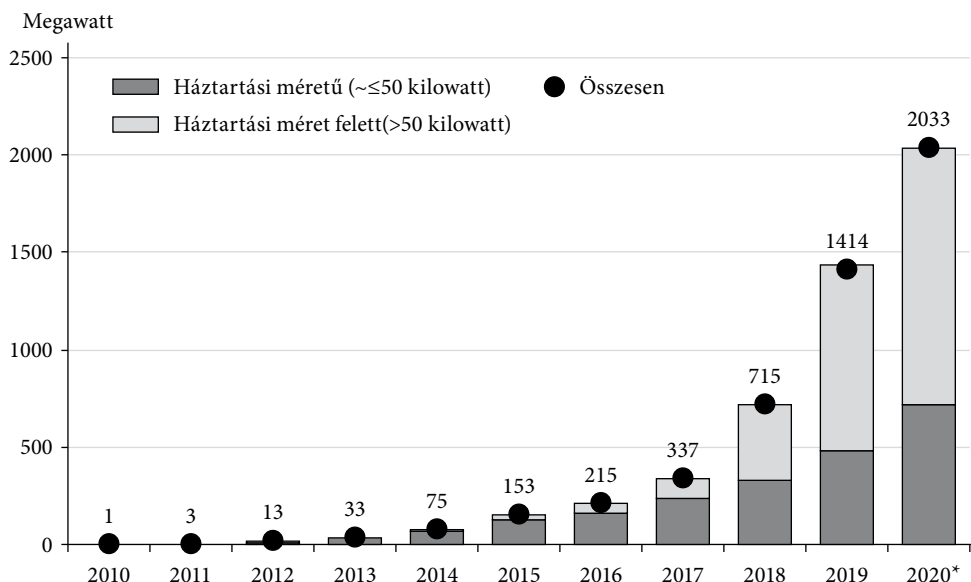
Forrás: Nemzeti energiastratégia [2020].

Az utóbbi években e céloknak megfelelően jelentősen bővült a decentralizált villamosenergia-termelést megvalósító napelemes kiserőművek darabszáma és beépített kapacitása (5. ábra). 2000 végén mintegy 2000 megawatt körül lehetett a napelemes erőművek teljesítménye Magyarországon, amely a hozzávetőleg 7000 megawattos

maximális hazai villamosenergia-igényhez viszonyítva már ma is jelentős. Összehasonlításként, a Paksi Atomerőmű teljesítménye is 2000 megawatt, de a napelemek az időjárásfüggő jellegük miatt összességében jóval kevesebbet termelnek.

5. ábra

Év végi napelemes beépített kapacitások alakulása Magyarországon, 2010–2020* (megawatt)



* A vizsgálat lezárásakor (2021. június) elérhető utolsó teljes éves adat.

Forrás: saját szerkesztés MEKH-adatok alapján.

A napelemek alapvetően két kategóriába sorolhatók. A háztartási méretű kiserőművek a körülbelül 50 kilowatt kapacitású, illetve az alatti méretű, kiszűrésű hálózatra csatlakozó rendszerek, amelyeket jellemzően a tetőkre telepítenek. A háztartási méretű kiserőművek össz-teljesítőképessége a 2015-ös 128 megawatttól 2020 végére 719 megawattal bővült, ami öt év alatt több mint ötszörös növekedést jelentett. A MEKH 2020 végén 88 235 háztartási méretű kiserőművet tartott nyilván, amelyek döntő hányada napelemes háztartási méretű kiserőmű volt (88 112), illetve ezek üzemeltetői 81 százalékos arányban természetes személyek voltak. A napelemes háztartási méretű kiserőművek többsége egyébként az 5–10 kilowatt közötti mérettartományba tartozik (MEKH [2021b]).

A háztartási méretű kiserőművek növekedését az éves/havi szaldós elszámolás lehetősége hajtja. Ennek keretében az adott éves/havi elszámolási időszakban vételezett villamos energia csökkenthető az adott időszakban megtermelt villamos energiával, és a díjakat csak a csökkentett mennyiség után kell megfizetni (a háztartási méretű kiserőművek megtakarítása ily módon körülbelül 37-38 forint/kilowattóra). Termelői többlet esetén a kereskedő fizet, a villamos energia mint termék (rendszerhasználati és egyéb díjtételek nélküli) árának megfelelő értéket (háztartási méretű kiserőművek esetében ez körülbelül 13,5 forint/kilowattóra). A jelenleg alkalmazandó

éves/havi szaldó mellett sok háztartási méretű kiserőmű lenullazza a villamosenergia-számláját, de a villamosenergia-rendszernek költséget okoz (például gyakorlatilag villamosenergia-tározóként használja a hálózatot), amit más fogyasztók fizetnek meg. A vonatkozó európai uniós szabályozás alapján a 2023. december 31-ét követően létesített háztartási méretű kiserőművek már nem választhatják a szaldós elszámolást, termelésüket csak a pillanatnyi fogyasztással lehet majd összeszámítani. Az otthonfelújítási támogatás⁹ keretében támogatott napelemek esetében pedig már 2021. július 1-jétől követelmény a szaldós elszámolásról való lemondás.

A következő években a háztartási méretű kiserőművek jelenleg évi 200 megawattos növekedésének további gyorsulása várható a szaldós elszámolás kivezetés előtti kihasználása és az állami támogatások miatt. 2024 után az úgynevezett *energiaközösségek* elterjedésétől (lásd a későbbiekben tárgyalt Vet módosítását), illetve egyéb állami támogatások bevezetésétől várható további ösztönző erő a háztartási méretű kiserőművek terjedéséhez.

A háztartási méretű kiserőműveknél nagyobb naperőművek esetében a napelemes technológia csökkenő költségei mellett a kötelező átvételi tarifa (KÁT) rendszer, majd a megújuló támogatási rendszer (Metár) keretében igényelhető működési támogatások ösztönözték a telepítéseket. Ezek a piaconál jellemzően magasabb támogatott árakat biztosítottak a megtermelt villamos energiára.

Ma már csak pályázati eljárásban lehet Metár-támogatást szerezni az új beruházásokhoz. A Metár-tendereket az energetikáért felelős minisztérium felkérésére írja ki a MEKH. A pályázati kiírások technológiássemlegesek, vagyis az egyes technológiák versenyeznek egymással. Az első három Metár-tender alapján ez a naperőművek elsöprő fölényét hozta, más típusú erőműveknek nem voltak igazán nyeresési esélyei (jóllehet szélerőművek adminisztratív okokból nem tudtak részt venni a pályázaton). Az első három pályázati kiírás azonban erős versenyt hozott, amely leszorította a támogatási igényeket is. Különösen igaz ez a 2020-as kiírásra, ahol a piacihoz közeli villamosenergia-árak alakultak ki. Ezek a projektek várhatóan nem vagy csak minimális mértékben terhelik a támogatást finanszírozó ipari villamosenergia-fogyasztókat. Sőt a nyertes árnál magasabb piaci ár esetén az erőművek fizetnek be a támogatási kasszába. A második kiíráson akár 50 megawattos projektekkal is lehetett pályázni, talán ezzel is összefüggésben megjelentek a külföldi, nagy tőkeerejű szakmai beruházók, esetenként hazai vállalatokkal közös projektcégekkel. (Meg kell jegyeznünk azonban, hogy ez már nem a tulajdonosi decentralizáció irányába ható folyamat.)

A 2021. április 30-án kiírt harmadik Metár-tenderre 2021 júliusában lehetett pályázni.¹⁰ Ennek keretében évi 450 millió forint új támogatást lehetett kiosztani, maximum 300 gigawattóra áramtermelésre. Fontos megjegyezni, hogy a harmadik Metár-pályázaton ismét csak maximum 20 megawattos, megújuló alapon termelő erőmű támogatására lehetett pályázni (MEKH [2021a]).

⁹ Lásd a gyermeket nevelő családok otthonfelújítási támogatásáról szóló 518/2020. (XI. 25.) kormányrendeletet (<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a2000518.kor>).

¹⁰ Bővebb információ: <http://www.mekh.hu/metar-tender-2021-i>.

A 2021 októberében kiírt negyedik tendert jogszabályi okok miatt visszavonták. A 2021 novemberében kiírt ötödik tender a már működő, megújuló alapon termelő erőművek bővítését, illetve jelentős felújítását támogatta 17 milliárd forintos támogatási kerettel, 5–20 megawatt, illetve 20–50 megawatt méretkategóriákban. A pályázati kiírás a víz- és biomassza-erőműveknek kedvezett, szemben a naperőművekkel.¹¹

A hatodik, 2022 márciusi pályázati kiírás eredménye csak 2022 nyarán várható. Ismét új beruházásokkal lehetett pályázni, de már csak meglévő hálózati csatlakozási szerződéssel és tartalékkapacitás kiépítésével. A bontási adatok alapján egyébként csak naperőművek pályáztak. A méretkategóriák az ötödik Metár-tenderhez hasonlóan 5–20, illetve 20–50 megawatt között alakultak, de a kiosztható éves támogatási keret a magas villamosenergia-piaci árak miatt csak 1-1 forint/év volt mindkét kategóriában.¹²

A fentiek eredményeként a MEKH úgy számol, hogy 2024-re a naperőművek összességében akár 4500–5000 megawatt villamos energiát is termelhetnek. A naperőművek terjedése azonban nagy kihívást jelent a villamosenergia-rendszer számára, hiszen a napsütés függvényében ingadozó termelést egyensúlyba kell hozni az aktuális villamosenergia-fogyasztással. Ehhez szükség lesz például a hálózatok megerősítésére, a megfelelő szabályozó erőművek biztosítására és általában véve a villamosenergia-rendszer okosabbá és rugalmasabbá tételére. A korábban már említett elosztott energiaforrások (*Decentralised Energy Resources, DER*) további elemeinek – például a keresletoldaliválasz-intézkedések, a különböző energiatárolási megoldások, illetve később a Power-to-X technológiák, de akár az elektromobilizáció – elterjedésével a termeléshez és a hálózati igényekhez igazított töltési ciklusok révén is elősegíthető a növekvő időjárásfüggő termelés jobb piaci rendszerintegrációja. Természetesen, mint ahogy azt korábban is leírtuk, ehhez fontos lenne az ilyen szolgáltatásokat nyújtó szereplők egyenlő hozzáféréseinek biztosítása a nagykereskedelmi villamosenergia-piacához, illetve a rendszerszintű szolgáltatások piacához.

A decentralizáció másik fontos eleme tehát, hogy a jövőben új szereplők jelenhetnek meg a hazai villamosenergia-piacon, hiszen a villamosenergia-törvény (Vet) módosítása alapján definiálták az *aktív felhasználó*, az *együttesen tevékenykedő aktív felhasználó*, az *aggregátor*, illetve az *energiaközösség* fogalmakat.

Az *aktív felhasználó* a saját maga által termelt vagy tárolt villamos energiát a saját csatlakozási pontján felhasználja vagy tárolja, a közcélú hálózatba betáplálja, vagy oly módon ajánlja fel fogyasztásának vagy betáplálásának rugalmasságát, hogy az nem minősül önálló foglalkozása vagy elsődleges gazdasági tevékenysége céljából kifejtett tevékenységnek (Vet 3. § 17a. pontja). Ez tehát lényegében a *prosumer* fogalma azzal a kiegészítéssel, hogy a rugalmassági kapacitásait is felajánlhatja.

Az úgynevezett *együttesen tevékenykedő aktív felhasználók* olyan felhasználók, akik közös csatlakozási ponton keresztül kapcsolódnak a közcélú hálózatra, és az általuk – vagy az együttesen tevékenykedő csoport valamely aktív felhasználó tagja által – termelt vagy tárolt villamos energiát a közös csatlakozási ponton felhasználják, a közcélú hálózatba betáplálják, vagy fogyasztásuk vagy betáplálásuk

¹¹ Bővebb információ: <http://www.mekh.hu/metar-tender-2021-iii>.

¹² Bővebb információ: <http://www.mekh.hu/metar-tender-2022-i>.

rugalmasságát oly módon ajánlják fel, hogy az nem minősül önálló foglalkozásuk vagy elsődleges gazdasági tevékenységük céljából kifejtett tevékenységnek (Vet 3. § 17b. pontja). Ez tehát azt jelenti, hogy megjelent az energiamegosztás (*energy sharing*), illetve a közvetlen, központi csomópont nélküli (*peer-to-peer*) *energiakereskedelem* fogalma a hazai jogalkotásban.

Az *aggregálás* fogalmának meghatározása a következő: az elosztó, átviteli hálózatra vagy magánvezetékre csatlakozó erőművek, felhasználói berendezések, villamosenergia-tárolók kombinálása valamely villamosenergia-piacon értékesítés, vásárlás vagy aukció céljából (Vet 3. § 3. pontja). Az aggregátor pedig az aggregálást végző piaci szereplő (Vet 3. § 3a. pontja).

Az *energiaközösség* szövetkezet vagy nonprofit gazdasági társaság formában működő jogalany, amelynek elsődleges célja nem a pénzügyi haszonszerzés, hanem hogy tagjai számára környezeti, gazdasági és szociális közösségi előnyöket biztosítson. Az energiaközösség az alábbi tevékenységek közül legalább az egyiket végzi (Vet 66/B. § 1. pontja):

- villamosenergia-termelés,
- villamosenergia-tárolás,
- villamosenergia-fogyasztás,
- elosztói rugalmassági szolgáltatás nyújtása,
- villamosenergia-megosztás,
- aggregálás,
- elektromobilitási szolgáltatás nyújtása,
- elektromos töltőberendezés üzemeltetése.

E piaci szereplők elterjedésével tehát várható, hogy a közeljövőben további jogosultságokat kapnak, illetve tevékenységükhöz részletesebb jogszabályi feltételek kerülnek kidolgozásra, összhangban az uniós elvárásokkal és az új megújuló-irányelv (RED II) átültetésével (EU [2018]).

A MEKH a Vet 66/E. § alapján nyilvántartást köteles vezetni az aggregátorokról. 2021. április végén nyilvántartásba is vette a MEKH az első két aggregátort, és a jövőben várható, hogy újabb szereplők jelennek majd meg ezen a piacon.¹³

Következtetések – hazai decentralizációs jövőkép

Végezetül a fentiekkel összhangban egy hazai decentralizációs jövőképet kívánunk felvázolni. Elmondható, hogy a villamosenergia-termelés és -kiegyenlítés alapvetően centralizált marad (lásd Paksi Atomerőmű, földgáztüzelésű erőművek, Mavir mint rendszerirányító). Az erőművek tulajdonosi decentralizációja is kérdéses, a németországihoz hasonló, úgynevezett *Bürgerenergie* terjedése nem várható Magyarországon. Jelentősen nőni fog azonban az aktív felhasználók, termelő fogyasztók és energiaközösségek száma, valamint az aggregátorok révén a villamosenergia-rendszerben

¹³ Bővebben lásd MEKH [2021d].

tapasztalható egyensúlytalanságok kiegyenlítése hosszú távon egyre inkább közel kerül a termelői-fogyasztói szegmenshez. Emellett azonban fontos megjegyeznünk, hogy a mostani technológiai lehetőségek mellett rövid és középtávon alapvetően a fosszilis erőműveket lehet bevonni a kiegyenlítésbe.

Elmondható az is, hogy a villamosenergia-termelés decentralizációja a naperőművek terjedésével felgyorsul, és a beépített kapacitások alapján 2040-re már a nap-
elemek lehetnek túlsúlyban. Kérdés, hogy ezek továbbra is az elosztott, decentralizált villamosenergia-termelést képviselik majd, vagy felgyorsul ezek koncentrált telepítése, illetve a tulajdonosi szerkezet koncentrálnálódása. Ezt természetesen a szakpolitika is tudja szabályozni a tenderek megfelelő paramétereinek kialakításával, illetve – amennyiben a technológiai költségek csökkenése, valamint a magas villamosenergia-piaci árak miatt már nincs szükség működési támogatásra – megfelelő jogszabályi környezet kialakításával.

Természetesen, mint azt korábban is említettük, e „napenergiaboom” jelentős kihívások elé állítja a hazai villamosenergia-rendszert. Az ellátásbiztonság érdekében továbbra sem nélkülözhetők a hagyományos, fosszilis, illetve nukleáris alapon

6. ábra

A magyarországi decentralizációs folyamat jelenlegi helyzete és lehetséges fejlődési iránya

Szempont	Jelen	Jövő
Elosztóhálózatra csatlakozó termelés	~2000 megawatt fotovoltaikus kapacitás*	2030-ra ~6500 megawatt, 2040-re >10 ezer megawatt PV
Fogyasztókhoz közeli telepítés	Nem szempont	Felértékelendő lokáció?
Megújuló alapú villamosenergia-termelés	2019: 9,99%*	2030: 20%
Kiegyenlítés	Alapvetően centralizált, fosszilis alapú	Decentralizációs elemek (pl. DSM, aggregátorok), részben megújuló alapon (lásd RES-E alapú hidrogén)
Tulajdonosi struktúra	Centralizált	Részleges decentralizáció, de német típusú <i>Bürgerenergie</i> nem várható

* Az adatok a 2021. júniusi állapotot tükrözik.

Rövidítések: DSM: keresletoldali szabályozás, RES-E: megújuló alapú villamos energia.

Forrás: saját szerkesztés.

működő technológiák, és ügyelni kell a megújuló és a hagyományos erőművi kapacitások reális összhangjának kiépítésére és fenntartására. Emellett hosszú távon olyan rugalmassági technológiák és megoldások irányába szükséges elmozdulni, mint a keresletoldali választékintézkedések, a hatékony tárolási technológiák (például úgynevezett zöldhidrogén előállítás¹⁴), a szektorintegráció Power-to-X technológiákkal stb. A decentralizált rugalmassági kapacitások aggregátorok révén léphetnek piacra, ami révén a villamosenergia-piaci szereplők számának növekedése várható a közeljövőben.

A 6. ábrán a korábban definiált szempontrendszer alapján kívánjuk összefoglalni a magyarországi decentralizáció jelenlegi helyzetét és lehetséges fejlődési irányát.

Hivatkozások

- ACKERMANN, T.–ANDERSSON, G.–SÖDER L. [2001]: Distributed generation: a definition. *Electric Power Systems Research*, Vol. 57. No. 3. 195–204. o. [https://doi.org/10.1016/S0378-7796\(01\)00101-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7796(01)00101-8).
- AGORA [2017]: Energiewende und Dezentralität. Zu den Grundlagen einer politisierten Debatte (Analysis). Agora Energiewende, Berlin, https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2016/Dezentralitaet/Agora_Dezentralitaet_WEB.pdf.
- ÁRVA ZSUZSANNA–NAGY ZOLZÁN–PUMP JUDIT–VARJÚ MÁRTON [2016]: Hálózatosság és határai: villamosenergia-ellátási közszolgáltatás. Megjelent: *Horváth M. Tamás* (szerk.): *Közszolgáltatások megszervezése és politikái*. Merre tartanak? Dialóg Campus Kiadó, Budapest, 193–260. o.
- AUSFELDER, F. ÉS SZERZŐTÁRSAI [2017]: Sektorkopplung. Untersuchungen und Überlegungen zur Entwicklung eines integrierten Energiesystems. *Energy Systems of the Future Publication Series*. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V., München.
- BAUKNECHT, D.–FUNCKE, S. [2013]: Dezentralisierung oder Zentralisierung der Stromversorgung: Was ist darunter zu verstehen? *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, Vol. 63. No. 8. 14–17. o. https://www.researchgate.net/publication/268520358_Dezentralisierung_oder_Zentralisierung_der_Stromversorgung_Was_ist_darunter_zu_verstehen.
- BUDAPEST FŐVÁROS ÖNKORMÁNYZATA [2021]: Budapest fenntartható energia- és klímaakcióterve, 2030. Egyeztetési anyag. Budapest Főváros Önkormányzata, január https://budapest.hu/Documents/klimastrategia/BP_klimastrategia_SECAP_egyeztetesi_anyag.pdf.
- EU [2018]: Az Európai Parlament és a Tanács 2018/2001. irányelve (2018. december 11.) a megújuló energiaforrásokból előállított energia használatának előmozdításáról. HL, L 328. december 21. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX:32018L2001>.
- EU [2019]: Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2019/944. irányelve (2019. június 5.) a villamos energia belső piacára vonatkozó közös szabályokról és a 2012/27/EU irányelv módosításáról. HL, L 158. június 14. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0944&from=hu>.

¹⁴ Az el nem fogyasztott, megújuló alapon termelt villamos energiát elektrolízissel lehet vízbontásra felhasználni, és az így nyert úgynevezett zöldhidrogén más szektorokban hasznosulhat.

- FUNCKE, S.–BAUKNECHT, D. [2016]: Typology of centralised and decentralised visions for electricity infrastructure Utilities Policy, Vol. 40. 67–74. o. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2016.03.005>.
- IEA [2020]: World Energy Outlook 2020. International Energy Agency, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>.
- IRENA [2019]: Innovation landscape brief: Market integration of distributed energy resources. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Market_integration_distributed_system_2019.pdf?la=en&hash=2A67D3A224F1443D529935DF471D5EA1E23C774A.
- LILLIESTAM, J.–HANGER, S. [2016]: Shades of green: Centralisation, decentralisation and controversy among European renewable electricity visions. Energy Research & Social Science, Vol. 17. 20–29. o. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.03.011>.
- LIN, J.–MAGNAGO, F. H.–FORUZAN, E.–ALBARRACÍN-SÁNCHEZ, R. [2017]: Distributed Generation Systems. Design, Operation and Grid Integration. Megjelent: *Gharehpetian, G. B.–Mohammad Mousavi Agah, S. (szerk.): Distributed Energy Resources. 8. fejezet*, Butterworth-Heinemann, 369–413. o. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804208-3.00008-X>.
- MARTIN, J. [2009]: Distributed vs. Centralized Electricity Generation: Are We Witnessing a Change of Paradigm? An Introduction to Distributed Generation. HEC Paris, https://www.vernimmen.net/ftp/An_introduction_to_distributed_generation.pdf.
- MEKH [2021a]: Tovább bővíülhet a környezetbarát napelem-kapacitás. Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH), sajtóhír, április 30. <http://www.mekh.hu/tovabb-bovulhet-a-kornyeztbarat-naperomu-kapacitas>.
- MEKH [2021b]: A járvány ellenére is rendületlen a háztartási méretű naperőművek terjedése. Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH), sajtóhír, május 19. <http://www.mekh.hu/a-jarvany-ellenere-is-renduletlen-a-haztartasi-meretu-naperomuvek-terjedese>.
- MEKH [2021c]: Bruttó villamosenergia-termelés éves adatai, 2014–2020. A Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH) hivatalos statisztikái, június 10. <http://www.mekh.hu/eves-adatok>.
- MEKH [2021d]: Új szereplők az energiapiacra: a MEKH nyilvántartásba vette az első aggregátorokat. Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH) sajtóhír, május 6. <http://www.mekh.hu/uj-szereplo-k-az-energiapiacra-a-mekh-nyilvantartasba-vette-az-első-aggregatorokat>.
- MEKH–MAVIR [2020]: A magyar villamosenergia-rendszer (VER) 2019. évi adatai. A Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH) és a Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt. (Mavir) közös kiadványa. http://www.mekh.hu/download/8/35/e0000/a_magyar_villamosenergia_rendszer_2019_evi_adatai.pdf.
- MOKHTARI, M.–GHAREHPETIAN, G. B.–MOHAMMAD MOUSAVI AGAH, S. [2017]: Distributed Generation Systems. Design, Operation and Grid Integration. Megjelent: *Gharehpetian, G. B.–Mohammad Mousavi Agah, S. (szerk.): Distributed Energy Resources. 1. fejezet*, Butterworth-Heinemann, 1–19. o. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804208-3.00001-7>.
- NEKT [2020]: Nemzeti energia-és klímaterv. Innovációs és Technológiai Minisztérium (ITM), https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/hu_final_necp_main_hu.pdf.
- NEMZETI ENERGIASZTRATÉGIA [2020]: Nemzeti energiastratégia 2030, kitekintéssel 2040-ig. Tiszta, okos, megfizethető energia. Innovációs és Technológiai Minisztérium (ITM), január, https://2015-2019.kormany.hu/download/b/40/c1000/Strat%C3%A9gia%C3%A1k_20200116.zip#!DocumentBrowse.

- PEPERMANS, J.–DRIESEN, J.–HAESELONCKX, D.–BELMANS, R.–D’HAESELEER, W. [2005]: Distributed generation: definition, benefits and issues, *Energy Policy*, Vol. 33. No. 6. 787–798. o. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.10.004>.
- PETZ ERNŐ [2018]: A füstbe ment terv – napenergia a Szaharából. http://energiaakademia.lapunk.hu/tarhely/energiaakademia/dokumentumok/201804/fustbe_ment_terv___napenergia_a_szaharabol.pdf.
- SHARES [2020]: Energy from Renewable Sources. SHARES tool of Eurostat. Eurostat, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/shares>.
- TÓTH TAMÁS [2020]: A zöld erőművek területi elhelyezkedését befolyásoló telepítési tényezők, különös tekintettel a működési támogatásokra. Doktori (PhD-) disszertáció. Széchenyi István Egyetem Regionális- és Gazdaságtudományi Doktori Iskola, https://rgdi.sze.hu/images/RGDI/honlapelemei/fokozatszerzesi_anyagok/T%C3%B3th_Tam%C3%A1s-Disszert%C3%A1ci%C3%B3_final_20200131.pdf.
- WITTE, J. (szerk.) [2020]: Centralized and decentralized components in the energy system. The right mix for ensuring a stable and sustainable supply. Position Paper, április, <https://en.acatech.de/publication/centralized-and-decentralized-components-in-the-energy-system/>.